

新的生产加工技术101例

〔日〕《机械与工具》编辑部 编
程 章 译 姜文炳 校



国防工业出版社

原 序

日本依赖进口原料,生产以出口为主要目的的工业产品,通过加工创造出附加价值,以繁荣本国经济。因此,生产加工技术对日本可以说是支撑国家的基础技术。今后,为了能继续生产出在国际输出竞争中取胜的工业产品,使国民经济持续地繁荣下去,必须竭尽全力发展生产加工技术,进而为对抗资源丰富国家的资源外交,日本也应以最先进的技术为武器,力求技术立国。所以说,日本如丧失了生产加工技术的先进性,处境是不堪设想的。

以具有最尖端的航空宇宙机械、核工业机械而自豪的美国已在为巨大的贸易赤字而苦恼。其原因是,尽管为了偿付石油等进口资源的货款,激增了所需要的外汇,但应指出,其工业产品在国际输出市场上的占有率下降。这就是说,围绕民用产品,美国在与各先进国家的输出竞争中处于劣势,归根结底败于生产率的竞争,结果导致输出竞争力的下降。

正如美国等在这方面失败所表明的那样,生产率的优势直接与国际竞争能力相关。为在竞争中获胜,就必须经常增加对设备更新和研究开发生产加工技术方面的投资。尤其是资源匮乏、依赖进口原料的日本,不得不使本国的生产结构成为产品输出型结构。这就需要大量投资,以便采用最先进的生产加工技术和提高劳动生产率,加强在国际市场上的竞争能力。

在要求缩短劳动时间,改善劳动条件呼声日益强烈的今

天，技术革新是提高生产率最有效的途径之一，其作用越来越重要。

本书在这样的历史背景下出版了，书中讲解的主要内容是生产加工技术及在有关领域中的最新技术革新成果。在当前应以什么样的标准来选择“革新性的生产加工技术”，则有各种各样的选择方案，而本书重点放在八十年代能够实用和普及的先进生产加工技术上，其中包括早已为人们所熟知的设想，而最近能达到实用阶段的技术。在目前阶段只不过是一种设想，达到实用水平还要相当一段时间的未来的加工技术，不是本书所要叙述的。本书对与生产加工技术有关的许多人员来说，是一本很有实用价值的书。

本书的内容是以八十年代实用的新的加工技术为对象，它作为研究、进修、再教育方面的教科书，作为青年学生在大学里的补充教材，作为生产管理人员了解最新生产加工技术的参考书，都是一本比较理想的书。新的技术术语尽可能地将英语一并列出，这对了解新的技术英语词汇也有所帮助。

本书内容取自月刊“機械と工具”五十次连载的“加工技术集锦”，经过精选，并补充了许多新的内容编写而成的。

本书如能提高日本八十年代的生产加工技术有所裨益，将不胜荣幸之至。

承蒙机械技术研究所生产工学部井上英夫先生对本书技术内容进行了审定，山田绿媛对资料及原稿进行了整理，在此，谨致以深切谢意。

工业调查会“机械与工具”编辑部

1979年10月

目 录

第一章 生产和系统	1
1 生产率之评价	1
2 批量生产系统的自动化	3
3 柔性制造系统(FMS)	6
4 刀具头的更换方式	8
5 英格索尔(Ingersoll) 刀具头更换装置	11
6 联线加工(Link-Line Machining)	12
7 单元系统(Cell System)	14
8 工业机器人与生产系统	16
9 非智能装置(mindless device)	19
10 装配机器人	22
11 加工过程与自动装配	24
12 机器人工程学的发展与加工技术	26
13 用加工中心实现无人加工	28
第二章 光加工	31
14 激光加工达到了实用阶段	31
15 辅以气体的激光加工	34
16 用激光加工飞机用的薄板材料	35
17 金属表面激光硬化法	38
18 激光热处理	40
19 金属表面激光热处理应用实例	42
20 电子束热处理	44
21 电子束焊接	46
22 小直径深孔加工	48

第三章 电加工和特殊加工	50
23 电加工法	50
24 高效率电火花加工	52
25 电火花线切割加工	55
26 珩磨成形加工(Hone-Forming)	57
27 等离子弧切割	59
28 水喷射切割	63
29 计算机数控水喷射加工	65
第四章 切削工具	68
30 超硬质合金刀具的发展与评价标准	68
31 新的刀具材料的选择	70
32 多样化的涂层超硬质合金刀具	73
33 氧化铝涂层刀头	77
34 陶瓷刀具的发展	79
35 切削刀具材料UCON	81
36 多晶金刚石	82
37 多晶氮化硼(BN)切削工具	85
38 粉末冶金(PM)高速钢	87
第五章 切削加工	91
39 正-负前角刀头(Positive-Negative rake bite)	91
40 平形铣刀头固定法	92
41 麻花钻头的折断	94
42 防止切削刀具超负荷	95
43 旋转车削刀具	97
第六章 磨削工具	100
44 超磨粒	100
45 超磨粒砂轮的整形(Truing)与修整(Dressing)	102
46 采用大型CBN砂轮的经济效果	105
47 用大型CBN砂轮进行外圆磨削	108

48	用 CBN 砂轮进行内圆磨削	110
49	用 CBN 砂轮进行珩磨	112
50	带螺旋槽的金刚石磨石	114
第七章 加工技术		116
51	镜面加工	116
52	金刚石刀具切削加工	118
53	高速切削	121
54	高速卡盘	124
55	高速拉削加工	126
56	数控(NC)车床床身形式的选定	127
57	数控(NC)机床用的工件卡具	130
58	超大型圆筒的数控打孔加工	131
59	易切削材料	133
60	在切削加工中利用高温和低温	135
61	去毛刺	137
62	深孔加工	139
63	高速磨削(HSG)	142
64	低速磨削(LSG)	145
65	蠕动进给磨削(CFG)	146
66	磨削液的高压供给	149
67	用微处理器控制磨床	151
第八章 加工控制		153
68	何谓适应控制	153
69	机床的适应控制	156
70	采用适应控制的经济效果	157
71	恒定切削力的控制	159
72	利用超声波的形状适应控制	161
73	通过检测气隙控制刀具进给	164
74	刀具磨损自动补偿装置(GENIMATIC)	166

75	能量适应控制磨削(EAG)	167
76	砂轮圆周速度的恒速控制	170
77	热变形与适应控制	172
78	高频振动和适应控制	175
79	廉价适应控制(LCRAC)	178
第九章 机床有关的技术		181
80	金属粘接结构	181
81	钢板补强混凝土的应用	183
82	改善加工中心的动态特性	184
83	机床与噪音	187
84	噪音衰减材料	189
85	永磁(PM)直流马达	191
86	磁力轴承	193
第十章 机床的维修与测定		196
87	最佳维修时间的选定	196
88	故障诊断通信系统(DCS)	198
89	滚动轴承的振动和噪音的测定	200
90	设备综合工程学(Terotechnology)	202
91	摩擦学(Tribology)	203
92	利用激光测定机床的精度	206
93	向电子化迈进的小型精密测定仪器	209
第十一章 其他		211
94	玻璃纤维补强水泥(GRC)	211
95	新的工程陶瓷	213
96	可切削的玻璃陶瓷	215
97	焊接用挡带(Back-up tape)	218
98	废切削油的回收系统	219
99	冷挤压加工的经济性	221
100	加工用的软件	223
101	数控用语音编程装置(VNC)	226
附表——换算单位		228

第一章 生产和系统

1 生产率之评价

迄今为止，人们对生产率的评价多偏重于工人的单位时间的生产力（如图1纵轴所示），即劳动生产率(labor productivity)，在生产系统合理化的改革中，几乎都是以劳动生产率为衡量尺度来进行的。这一点，从为了抵偿高额工资而投入大量资金进行生产设备自动化、省力化的改造过程中，也可以清楚地看到。目前，日本提高劳动生产率所采取的方法和美国一样，采用的是先进国家惯用的资本密集型技术(Capital intensive technology)。

但是，这种资本密集型技术形态受到了投资量的限制。这是因为资金流向利润更高的领域，致使改造技术装备要付出更高的代价。因而又不得不考虑向劳动密集型技术方向逆转，然而，这在现实又是不可能的。

鉴于这一情况，美国国家科学基金会(NSF)根据这样的历史经验，提出了适合于现在和未来的世界经济的评价法(total factor productivity)，以改变过去那种只重视劳动生产率的评价倾向。“total factor productivity”可译为“综合生产率”或“多元性生产率”，它是输出的工业价值(产品)与投入生产过程中的所有投资项目的比值，可把它作为评价的标准。在投资项中包含生产所需要的能源、原材料、劳动力、资本、设备等。

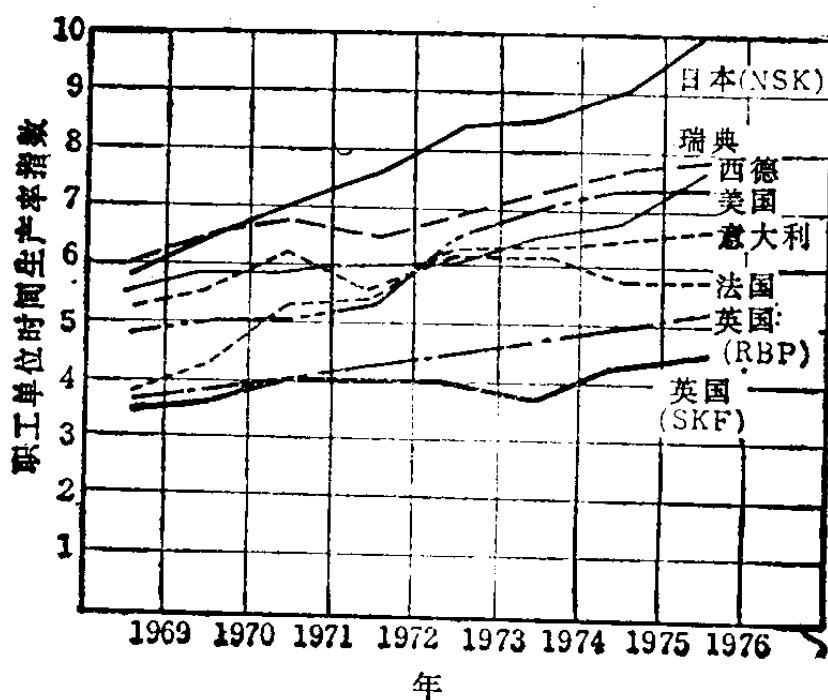


图1 各国轴承工业生产率指数的逐年变迁

不能忽视能源和原材料费用的提高

例如，在能源危机之前，能源和原材料费用即使有所增加，但它与为提高生产率所消耗的费用相比，所占的比重还是很小的，可以忽略不计。现在能源、原材料的费用大幅度地提高，忽视这方面的费用而提高生产率是不可能的。由于能源、原材料的涨价速度超过了因技术进步而利润提高的速度，出现了生产率提高受到了限制的趋势。综合生产率的计算方法，则考虑到所有投资项目的变动情况，建立对生产率改善的综合定量的评价方法。这就为象过去只以劳动生产率不能掌握的现状找到了基本方法。因此，在综合生产率的构成因素中，除包括原有的劳动生产率 (Labor factor productivity: 单位工时的产品量) 外，又加进能源生产率 (energy factor productivity: 单位台时的产品量)、原材料生产率 (material factor productivity: 每吨原材料的产品量)，共同构成了评价生产率的标准。

综合生产率的概念很早就提出来了，但几乎没有定量的分析实例，大都是以劳动生产率来进行评价的。在人类面临着资源枯竭问题、公害问题日益严重的今天，为要提高生产率，使经济继续增长，必须采用以综合生产率的概念所建立的评价方法来发展生产加工技术。

2 批量生产系统的自动化

研究多品种中小批量生产系统，即批量生产系统 (batch production system) 的自动化技术是机床制造厂家的最重要课题。批量生产系统的自动化成功与否，对在八十年代的生产技术竞争中能否获胜有很大的影响。因此，日本、美国、西德的机床制造厂家在政府支持下大力进行研制。

批量生产系统自动化被重视的历史背景是：与大量生产系统相比，要求作业内容具有柔性 (flexibility)，所以难以实现自动化，不易做到合理化；由于用户的需求多样化，多品种中小批量生产将取代大批量生产，成为生产形态的主流，批量生产的产品急剧增加；现在处在一个需求难以预测的时代，把资金投到制造专用设备上要冒很大风险等。

“自动批量生产系统”还没有一个严密的定义，但可以把它看做是通过自动搬运装置，将具有柔性的 NC (Numerical Control: 数控)、CNC (Computer Numerical Control: 计算机数控) 机床群有机地统一联结起来，自动地连接进行批量加工的系统。

目前，人们统称这种自动批量生产系统为 ABMS (Automated Batch Manufacturing System)，但也有以厂家名称或系统构成规模来命名的，还有的以商标命名。现在常见的有 FMS: Flexible Manufacturing System-柔性制

造系统, 卡尼和特里克(kearney & Trecker: K & T)公司制, FMS: Flexible Machining System-柔性加工系统 本迪克斯 (Bendix) 公司制, FMC: Flexible Manufacturing Cell-柔性制造单元 (柏林工业大学spur 教授研制), VMMS: Variable Mission Manufacturing System-任务可变制造系统, 辛辛那提 米拉克隆(Cincinnati Milacron)公司制, FRS: Flexible Response System-柔性响应系统, Totally-Integrated Small-Batch Production System-全集成小批量生产系统等。其中FMS (柔性制造系统)作为ABMS的代名词已被广泛使用。

构成ABMS的主要设备为, 采用多刀具高柔性的加工中心 (或车削中心)、采用多轴刀具高生产率的刀具头更换装置 (见图 1)、控制装置和自动搬运装置等 (见图 2)。

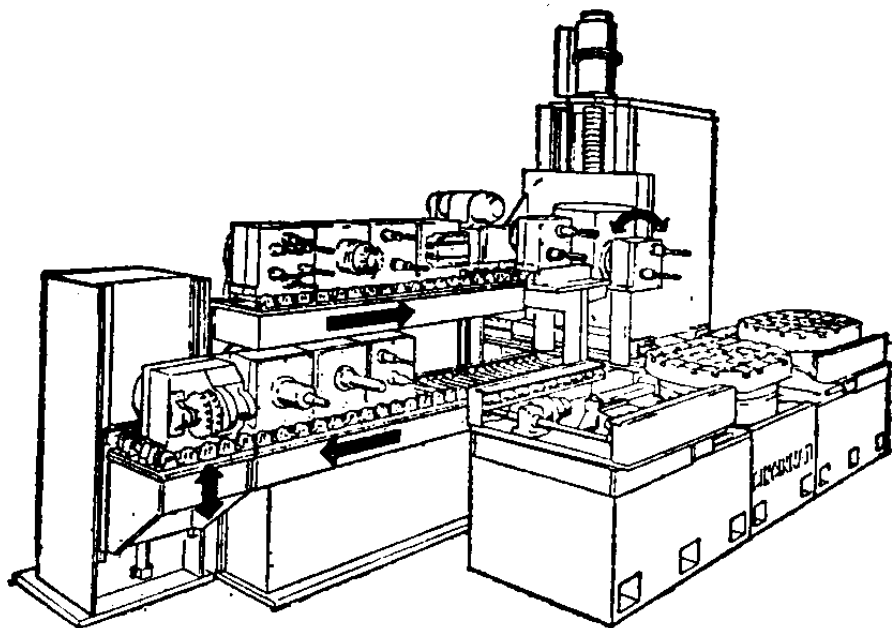


图 1 辛辛那提 米拉克隆 (Cincinnati Milacron)
任务可变刀具头更换装置

预计在八十年代, ABMS会有较大的需要量, 所以, 很多机床制造厂家都在积极研制, 并开始出售这种机床。其中

成绩最显著的是卡尼(Kearney)和特里克(Trecker)公司, 辛辛那提 米拉克隆(Cincinnati Milacron)公司, 在美国其他公司, 如惠特-森德斯特兰德(White-Sundstrand)、吉丁和利维斯(Gidding & Lewis)、埃克斯-塞尔-奥(Ex-Cell-O), 本迪克斯(Bendix)、英格索尔(Ingersoll)铣床, 斯奈德(Snyder), クロス(Cross)等各公司也都做出了成绩。

加工中心已有二十年左右的应用历史, 但它作为新型机床配以正式的数把刀具头更换装置(Head Changer或Head Indexer)用于实际加工, 到1977年才实现。正如后面所述, 它是将来期望的既有加工中心的柔性, 又有自动线的高生产率的机床。

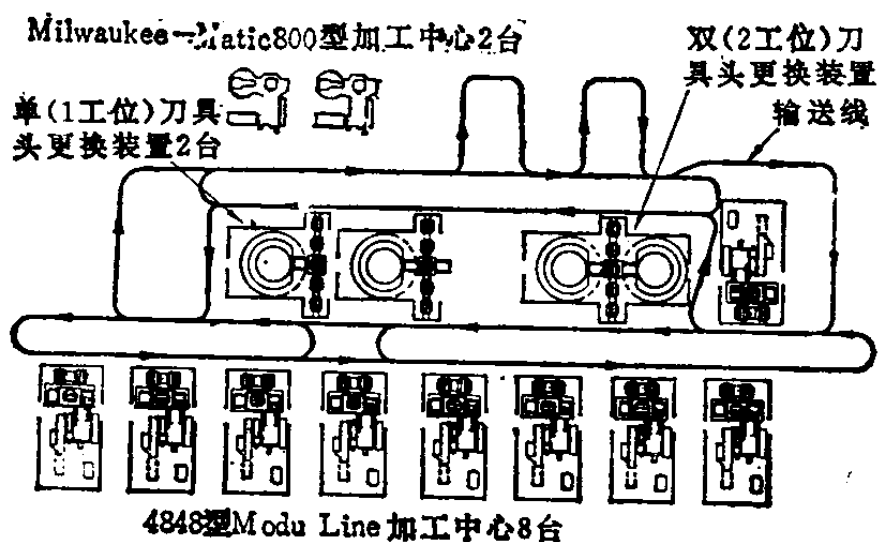


图2 阿夫克(Avco)公司加工飞机发动机铝曲轴箱用的ABMS(K & T公司制)

通过相对配置的2台刀具头更换装置同步运转, 同时在两面进行多轴加工的双向刀具头更换装置系统(duplex headchanger或dual station head changer), 在美国、西德等国已开始运行, 并相继应用于旨在高效加工的自动批量制

造系统（图2）。这种双向刀具头更换装置系统，很象在汽车工业加工发动机组用的自动线加工系统，但它用于ABMS，则还具有高度柔性，这是它们的根本不同之点。

3 柔性制造系统（FMS）

最近生产系统有了很快的发展，在控制方面有群控（DNC）和计算机数控（CNC）；在机械方面有加工中心等。下面谈一下将DNC进一步向大规模自动化系统发展的直接工厂控制（DFC：Direct Factory Control）。

在采用自动化加工系统时所遇到的难题是确定用它加工什么样的工件，如何更有效的运用它等。譬如说，将加工中心用于一个小规模自动化系统，加工什么样的工件，多大数量才能比其他NC具有优越性。这要按照每个工厂的实际情况而定，但要做出合乎实际的结论是很困难的。本节所要讲述的FMS为解决这一难题提供了线索，同时也是实现DFC的第一步。

实现中品种中批量生产的自动化

FMS的设计思想是由卡尼和特里克（Kearney & Trecker）公司提出的，他们很早就热心于计算机与加工系统相结合，研制了GEMINI系统。采用FMS的目的在于，通过计算机系统，把NC机床、计算机、物料自动搬运装置三个要素有机地组合起来，用于多品种小批量和少品种大批量之间的中品种中批量生产（mid-variety, mid-volume production），以实现高效柔性加工系统。图1是从有效利用NC机床出发，来看FMS在品种和数量之间的地位，从图1中可以看出FMS是一条连结自动线和单机NC机床之间的桥梁。比如说，在通用NC机床上安装专用工装，这有与FMS的设

计思想相似之处。FMS设计思想主要是使批量处理系统转换为自动化系统。

因此，构成FMS所需要的NC机床，用加工中心或任务可变刀具头更换装置最为合适，它们都具有工件装卡一次，可进行多道工序加工的功能。如遇有不适于加工中心或刀具头更换装置加工时，除可增设其他类型机床进行加工外，还可增设以随机指令能适应流动工件的清洗装置和自动检测装置。

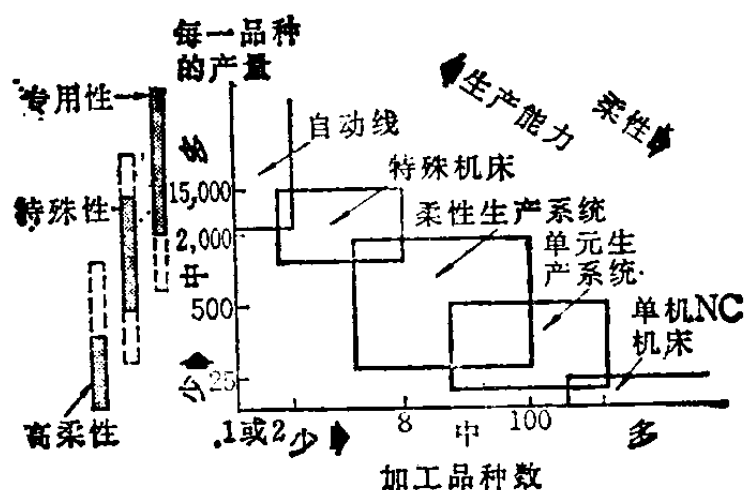


图 1

FMS所要求的搬运装置，必须与系统的高度柔性相适应。所以，要求在具有比自动线更多功能的计算机指令下，对多种工件能自动搬运的功能。

用FMS的计算机，需要具有能随机信息处理的功能，K & T公司采用的是微型模块结构计算机。

FMS的实际形态是有所不同的，有的是从以大量生产为目的的自动线来探讨；有的是从以单件生产为目的的单机NC机床来探讨，这两种情况是不同的。这样就出现了更近于自动线的FMS与以加工中心为主的FMS的别。不管怎样，采用FMS的目的是要形成一种随机灵活的生产形态，以完成在

这以前很难完成的多品种、中小批生产的自动化，实现高效的、经济的批量生产系统。

日本也正在大力研制与FMS相同的加工系统，最有代表性的实例是通产省研制的ABMS（综合生产系统）。这一研制计划闻名于世，投资达5000万美元。

4 刀具头的更换方式

将工件固定，采用移动和更换刀具头这一革新设计的中批量生产系统，正在引起人们的重视。美国本迪克斯（Bendix）机床公司采用英格索尔（Ingersoll）铣床公司的刀具头更换系统，完成了名叫柔性加工系统（FMS: Flexible Maching System）的刀具头更换式加工系统，并交付用户使用。

刀具头更换方式（tool head-Changing）的加工系统（或叫刀具头移动方式加工系统），也称之为刀具头更换装置。装有刀具的多轴刀具头放在传送带上，带动刀具头像游戏场上的木马一样移动，以便加工固定在托盘上的工件。这样加工系统与以往工件依次向各个机床加工工位移动的自动线（工件移动系统）不同，前者是依靠变更刀具头来加工的，后者是依靠变更工件的工位来加工的。

“柔性+高生产率”的生产系统

刀具头更换方式的加工系统，只要编制出刀具头更换程序，就可改变加工内容，比以往的自动线具有更高的柔性，这是因为后者在变更加工内容时，需要重新编制出整个生产线的程序。加工中心附有的自动换刀装置（ATC）具有较高的柔性。但仅限于单轴加工，与多轴加工的刀具头更换式加工系统相比，其生产效率就显得低了（因为加工中心的ATC

每次只换一把刀具，而刀具头更换方式则不同，是将装有刀具头的整体以整体方式进行更换)。因此，这种刀具头更换式加工系统，介于生产效率低的单轴加工中心和柔性差的自动线系统之间，对中批量的生产，可以说是最佳的革新设计。

刀具头更换式加工系统的特点并不单表现在工件固定后，依靠移动刀具头，使其具有高柔性。英格索尔和本迪克斯 (Ingersoll和Bendix) 两公司的系统，采用的都是多轴刀具头，在中批量生产中显著地提高了生产率。忽视这种多轴加工的优点，就谈不上它的高效性。目前本迪克斯(Bendix)公司认为许多以加工中心单轴加工的工件，也可用多轴同时加工，由于采用新型的多轴同时加工系统，生产率可以显著地提高。为了提高生产率，应在工件设计阶段就要为多轴加工着想，需要将过去的单轴加工的设计思想转变为多轴加工。

FMS是非常合算的

一台加工面积为 4 英尺 × 4 英尺的FMS (本迪克斯公司产) 的费用是50万美元 (1 亿 2 千万日元) 左右。一台与此FMS 相同加工的附有 ATC 的加工中心的费用是 18 万美元 (4,500 万日元)。但是，FMS的刀具头平均有10个轴同时加工，这远比单轴加工的加工中心的效率高，所以完全可以抵偿买进时高出的那部分费用。

FMS刀具头的工位更换时间，在 3 秒钟以下、编制刀具头更换程序，也只有30min。刀具头的重量大约是 1.5 t，移动速度为 6 in/s，刀具头采用的是顺序选择方式，未被选用的刀具头在 3 s 以下，即可通过工件所在工位。

西德也采用刀具头更换方式

为寻求中批量生产系统的高效率和柔性，美国英格索尔和本迪克斯（Ingersoll和Bendix）两公司已先后发表了具有革新设计的多轴刀具头更换式加工系统，今后人们所关心

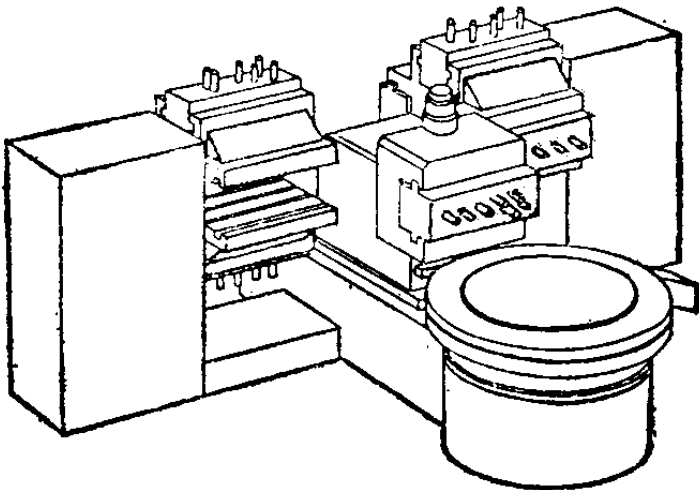


图 1 许勒-希勒（Hüller-Hille）公司的刀具头更换式铣床

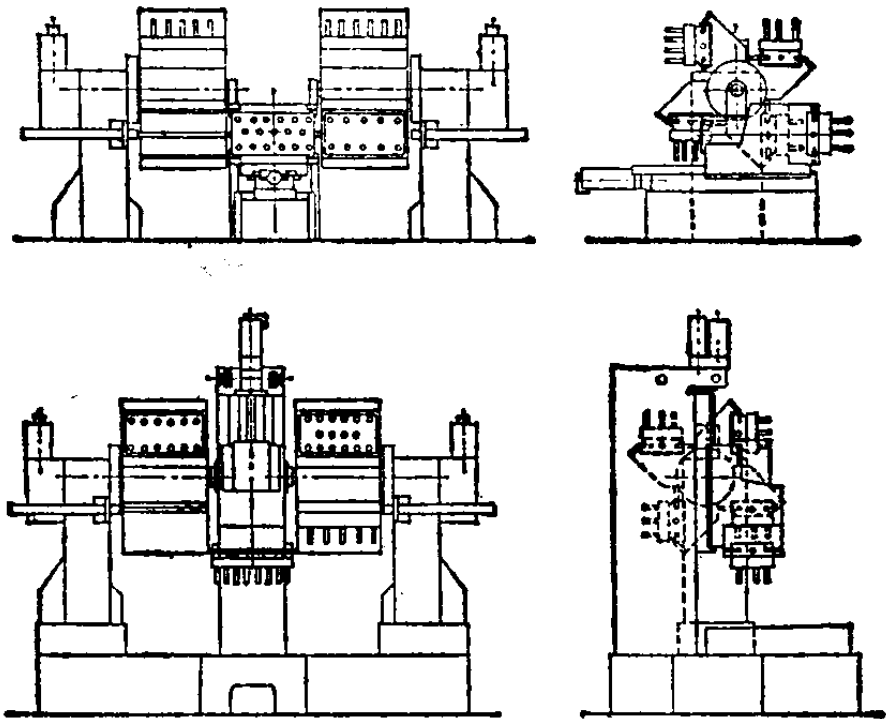


图 2 许勒-希勒（Hüller-Hille）公司的刀具头更换式铣床